

(19)

JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 09304611 A

(43) Date of publication of application: 28.11.97

(51) Int. Cl

G02B 5/18

(21) Application number: 08115097

(22) Date of filing: 09.05.96

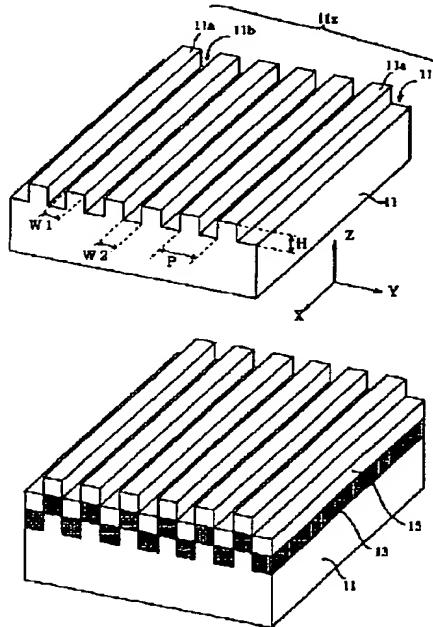
(71) Applicant: OKI ELECTRIC IND CO LTD
GIJUTSU KENKYU KUMIAI
SHINJOHO SHIYORI KAIHATSU
KIKO(72) Inventor: TAKAMORI TAKESHI
WADA HIROSHI
KAMIJO TAKESHI(54) PRODUCTION OF REFRACTIVE INDEX
MULTI-DIMENSIONAL PERIODIC STRUCTURE

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily produce a desired refractive index multidimensional periodic structure even when a compound semiconductor material is used by preparing a base which has a periodically uneven structure on the top surface and laminating specific thin films such as two kinds of thin films, which differ in refractive index, on the top surface of the base alternately with a film thickness that is equal or substantially equal to the step of the unevenness.

SOLUTION: The surface of a GaAs substrate 11 is machined so that ridge-shaped projection parts 11a are formed on the top surface of the GaAs substrate 11 in parallel at a period P along the width (Y direction). Here, the respective values of the width W1 of projection parts 11a, the width W2 of recessed parts 11b, and the step H of the unevenness can optionally be set corresponding to what kind of refractive index periodic structure is formed. On the GaAs substrate 11 which has the uneven structure on the top surface, an AlAs thin film 13 as a 1st thin film and a GaAs thin film 15 as a 2nd thin film are laminated alternately so that their film thickness become equal or substantially equal to the step H of the unevenness.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-304611

(43)公開日 平成9年(1997)11月28日

(51) Int.CI.⁶
G02B 5/18

識別記号 疾内整理番号

F I
G02B 5/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全9頁)

(21)出願番号 特願平8-115097

(22)出願日 平成8年(1996)5月9日

(71)出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(71)出願人 593162453

技術研究組合新情報処理開発機構

東京都千代田区東神田2-5-12 龍角
散ビル8階

(72)発明者 高森 純

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電
気工業株式会社内

(74)代理人 弁理士 大垣 孝

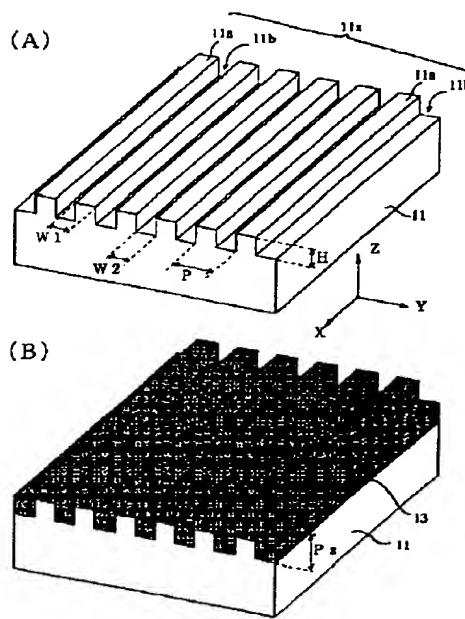
最終頁に続く

(54)【発明の名称】屈折率多次元周期構造の作製方法

(57)【要約】

【課題】 化合物半導体材料で構成され所望の厚さを有した屈折率多次元周期構造を簡易に作製できる方法を提供する。

【解決手段】 周期的な凹凸構造11xを表面に有したGaAs基板11を用意する。この基板11の表面上に、屈折率が異なる2種類の薄膜としてAlAs薄膜13およびGaAs薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差Hと等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層する。



11:一次元周期構造を有した下地 (GaAs基板)

11a:凸部 (リッジ状の凸部)

11b:凹部 (リッジ状の凹部)

11x:周期構造 (一次元周期構造)

13:第1の薄膜 (AlAs薄膜)

P: Pの実質の形態の説明図 (その1)

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 周期的な凹凸構造を表面に有した下地を用意し、

該下地の前記表面上に、屈折率が異なる 2 種類の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層することを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 2】 周期的な凹凸構造を表面に有した下地を用意し、

該下地の前記表面上に、後処理により少なくとも一方の屈折率が変化するような 2 種類の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層し、

該積層の済んだ試料に対し当該後処理を行なうことを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 3】 周期的な凹凸構造が表面に形成されている下地を用意し、

該下地の前記表面上に、後に行なう酸化処理によって酸化される第 1 の薄膜と該第 1 の薄膜に比べ酸化の程度が少ないか実質的に酸化されない第 2 の薄膜とを、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層し、

該積層の済んだ試料に対し当該後酸化処理を行なうことを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 4】 請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の屈折率多次元周期構造の作製方法において、

前記下地として、前記周期的な凹凸構造が下地表面に平行な一方向に沿って繰り返されている下地を用い屈折率二次元周期構造を作製することを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 5】 請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の屈折率多次元周期構造の作製方法において、

前記下地として、前記周期的な凹凸構造が下地表面に平行な二方向それぞれに沿って繰り返されている下地を用い屈折率三次元周期構造を作製することを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法（ただし、前記二方向とは、互いが 180° 反対向きである場合を除く。）。

【請求項 6】 周期的な凹凸構造が表面に形成されている下地であって該凹凸構造が該下地表面に平行な一方向に沿って繰り返されている下地を用意し、

該下地の前記表面上に、後に行なうエッティング方法によってエッティングされる第 1 の薄膜と該エッティング方法によってはエッティングされないか実質的にエッティングされない第 2 の薄膜とを、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層し、

該積層の済んだ試料に対し当該後エッティングを行なうことを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【請求項 7】 請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の屈折率多次元周期構造の作製方法において、

前記凹凸構造の凹凸が繰り返される方向における凹部の幅、凸部の幅、該凹凸における段差の各寸法を制御することにより、屈折率多次元周期構造における各次元の周期を制御することを特徴とする屈折率多次元周期構造の作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、半導体光デバイスの作製等への適用が期待できる、屈折率多次元周期構

10 造の作製方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 屈折率の異なる 2 つの領域が交互にかつある周期をもつて然も少なくとも二次元方向それぞれに生じている構造は、屈折率多次元周期構造といえる。この構造は、例えば量子効率 100% の半導体レーザ等、有用な光素子を実現する可能性を持つと考えられている（例えば文献 I : 「応用物理」第 63 卷、第 6 号、pp. 604-6079(1994)）。屈折率多次元周期構造のうち、屈折率二次元周期構造を作製するための従来方法として、例えば

20 文献 II (Applied Physics Letters vol. 64, pp. 687-689 (1994)) に開示の方法がある。これは円形開口部を周期的に有したレジストパタンを半導体基板表面上に形成し、次に、反応性イオンエッティング技術等のエッティング手段により該基板の前記レジストで覆われていない部分をエッティングして、該基板の所定部分ごとに円柱形穴を形成するという方法である。この方法で得られた構造では、円柱形穴の部分が空気（低屈折率部分）、その他の部分が基板のまま（高屈折率部分）であるので、両者により屈折率二次元周期構造が構成される。また、屈折率三次元周期構造を作製するための従来方法として、例えば文献 III (Physical Review Letters vol. 67, pp. 2295-2298(1993)) に開示の方法がある。これは誘電体基板の表面から該基板に円柱形穴をドリル手段によりしかも 3 方向にそれぞれ形成するという方法である。この方法で得られた構造では、円柱形穴の部分が空気（低屈折率部分）、その他の部分が基板のまま（高屈折率部分）であるので、両者により屈折率三次元周期構造が構成される。

【0003】

40 【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、文献 II に開示の従来方法の場合は、ドライエッティングにより円柱形穴を形成するので深い穴を開けることが難しい。そのため、厚さが厚い屈折率二次元周期構造を作製するのが困難であるという問題点がある。

【0004】 また、文献 III に開示の従来方法の場合であって、ドリル手段として同文献の Fig. 2 の説明文中にあるように反応性イオンエッティングを用いる場合は、文献 II の場合と同様に深い穴を開けることが難しいから、厚さが厚い屈折率三次元周期構造を作製するのが困難であるという問題点がある。さらに、3 方向の穴開

けのために 3 回の反応性イオンエッティングを実施する必要があるから、目的の屈折率三次元周期構造を作製する際の歩留りや再現性は極めて悪いものになると考えられる。さらに、文献 III に開示の従来方法の場合であつて、ドリル手段として同文献の Fig. 2 の説明文中にあるように機械的なドリルを用いる場合は、誘電体基板として例えば化合物半導体基板のような機械的強度に乏しいものを用いることが出来ないという問題が生じる。

【0005】所望の厚さを有した屈折率多次元周期構造を簡易に作製でき、然も、光素子作製用の代表的な材料である化合物半導体材料を用いる場合も所望の屈折率多次元周期構造を簡易に作製できる方法の実現が望まれる。

【0006】

【課題を解決するための手段】そこで、この発明の屈折率多次元周期構造の作製方法によれば、周期的な凹凸構造を表面に有した下地を用意し、該下地の前記表面上に、屈折率が異なる 2 種類の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚（以下、「所定の膜厚」ともいう）となるよう積層することを特徴とする。

【0007】この発明によれば、所定の下地表面上に、屈折率が異なる 2 種類の薄膜を交互に積層し、かつ、これら 2 種類の薄膜の膜厚を所定の膜厚としているので、下地面に垂直な方向では 2 種類の薄膜がほぼ同じ膜厚で交互に積層され、かつ、下地面に平行な方向に沿って 2 種類の薄膜が交互に出現する構造が形成される。ここで、下地表面の凹凸構造が下地面に平行な一方に沿っている場合は、この方向に沿う屈折率周期構造と下地面に垂直な方向に沿う屈折率周期構造とから成る屈折率二次元周期構造が得られる。また、下地表面の凹凸構造が下地面に平行な二方向に沿っている場合は、この二方向に沿う屈折率周期構造と下地面に垂直な方向に沿う屈折率周期構造とから成る屈折率三次元周期構造が得られる。そして、下地面に垂直な方向における 2 種類の薄膜の周期は、下地表面に形成する凹凸構造における段差の寸法により制御出来、一方、下地面に平行な方向における 2 種類の薄膜の出現周期は、下地表面に形成する凹凸構造における凹部の幅および凸部の幅の一方または双方により制御出来るので、屈折率周期構造の制御も容易に行なうことが出来る。なお、屈折率周期構造における周期は該構造の使用目的に応じた任意の周期とできる。例えば文献 I に示されているフォトニックバンドギャップ構造を作製する場合であれば、扱う光の波長と同程度の寸法にこの発明でいう周期を設定する。この場合は、自然放出光を人為的に制御し得るような光デバイスの実現が期待出来る。

【0008】なお、この発明において、下地の構成材料および 2 種類の薄膜それぞれの構成材料は、屈折率多次元周期構造の用途に応じた任意のものとできる。典型的

には、少なくとも 2 種類の薄膜は化合物半導体材料とするのが良い。光素子の用途に適合するからである。また、2 種類の薄膜は例えば格子定数が近いもの同士とする等、結晶成長が良好になされる材料からなるものとするのが良い。品質の優れた屈折率多次元周期構造が得られるからである。下地も、2 種類の薄膜のいずれか一方の構成材料と同じ材料からなる下地とするか、異なる材料であっても薄膜の結晶成長が良好になされる材料からなる下地とするのが良い。その方が、下地上に形成される 2 種類の薄膜の品質が良好になるので、良好な屈折率多次元周期構造が得られるからである。また、下地を 2 種類の薄膜のうちの一方と同じ材料で構成された下地とし、この下地上に 2 種類の薄膜のうちの他方の薄膜から積層を開始すれば、下地表面の凸部分自体が屈折率周期構造の一部を構成するようになる。

【0009】また、この発明では、周期的な凹凸構造を表面に有した下地上に、後処理により少なくとも一方の屈折率が変化するような 2 種類の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が所定の膜厚となるように積層し、該積層の済んだ試料に対し当該後処理を行なうようしても良い。この場合において、2 種類の薄膜は、最初から互いに屈折率が異なっていてかつ後処理により少なくとも一方の薄膜の屈折率がさらに変化するようなものでも良く、或は、2 種類の薄膜ともに最初は屈折率が同じであるが後処理の後に少なくとも一方の薄膜の屈折率が変化するようなものでも良い。後の実施の形態では、下地上に形成される 2 種類の薄膜が最初から互いに屈折率が異なっていてかつそのうちの一方の屈折率が後処理により（具体的には酸化処理により）さらに変化する例を示す。

【0010】また、この発明では、周期的な凹凸構造が表面に形成されている下地上に、後に行なうエッティング方法によってエッティングされる第 1 の薄膜と該エッティング方法によってはエッティングされないか実質的にエッティングされない第 2 の薄膜とを、交互にかつ所定の膜厚となるように積層し、該積層の済んだ試料に対し当後エッティングを行なうようにしても良い。

【0011】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照してこの発明の屈折率多次元周期構造の作製方法の実施の形態について説明する。しかしながら、説明に用いる各図はこの発明を理解出来る程度に概略的に示してあるにすぎない。また、各図において同様の構成成分については同一の番号を付して示し、その重複する説明を省略することもある。また、詳細は後述するが各図では、G a A s 薄膜と A l A s 薄膜とを区分けするために、A l A s 薄膜そのものあるいは、それに関連する酸化膜（図 5 (B) ）や空孔（図 7 (B) ）に網点模様を付して示してある。

【0012】1. 第 1 の実施の形態

50 先ず、下地として、基板表面に平行な一方向に凹凸構造

が繰り返されているGaAs基板を用い、かつ、屈折率が異なる2種類の薄膜として、GaAs薄膜およびAlAs薄膜を用いて、屈折率二次元周期構造を作製する例を説明する。図1および図2はその説明に供する工程図であって、製造工程中の主な工程での試料の様子をそれぞれ斜視図により示した工程図である。なおGaAsおよびAlAsを用いるこの例の場合、GaAsの屈折率が約3.5であり、AlAsの屈折率が約2.9であるので、GaAs薄膜が高屈折率薄膜、AlAs薄膜が低屈折率薄膜にそれぞれ当たる。

【0013】はじめに、GaAs基板の表面に、リッジ状の凸部11aがその幅方向(図1(A)中Yで示す方向)に沿って周期Pで並置形成されるように、該GaAs基板表面を通常のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術とを用いて加工する。この加工の済んだGaAs基板11は、該基板表面に平行な一方向(図1(A)中のY方向)に沿って凸部11aおよび凹部11bが繰り返された周期構造(一次元周期構造)11xを表面に有したGaAs基板11すなわちこの発明でいう下地11になる(図1(A))。ここで、凸部11aの幅W1、凹部11bの幅W2、凹凸における段差Hの各値は、屈折率周期構造をどのような構造のものにするかに応じ、任意の値にできる。具体的にはW1およびW2は、周期構造11xにおける周期P(図1(A)参照)をどのような周期にするかに応じ決めることが出来、Hは、GaAs基板11の表面に対し垂直な方向に後に形成される周期構造の周期Pz(図1(B)参照)をどのような周期とするかに応じ決めることが出来る。例えばW1=W2=Hとすれば、GaAs基板11の表面に平行な方向での屈折率周期構造と、GaAs基板11の表面に垂直な方向での屈折率周期構造とが同じ周期となった屈折率二次元周期構造の作製が可能になる。また、凸部11aの側壁(凹部11bの側壁)はできるだけGaAs基板表面に対し垂直になるようにするのが良い。そうした方が、凹凸構造が、下地11上に薄膜を形成した後でも良好に保存され易いからである。

【0014】このように凹凸構造を表面に有したGaAs基板11上に、第1の薄膜としてのAlAs薄膜13と、第2の薄膜としてのGaAs薄膜15とを交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差Hと等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層する(図1(B)、(図2(A)))。これら薄膜13、15の積層数は、希望する厚さの屈折率周期構造が作製できる数とする。これら薄膜13、15の成膜方法は、下地11の凹凸構造11xを転写し易い成膜方法が好ましい。例えば分子線成長法(MBE法)は好ましい成膜方法の1つとして挙げられる。

【0015】各薄膜13、15の形成工程においてAlAs薄膜13およびGaAs薄膜15それぞれは、凹部11b上の成長部分と凸部11a上の成長部分とが凹凸

の段差H分ずれた状態で成長する。そのため交互積層が済んだ試料では、GaAs基板11表面に平行でかつ凹凸に沿う方向においても、基板11表面に垂直な方向においても、GaAs薄膜とAlAs薄膜とが交互にかつ周期的に存在する構造が作製されるので、屈折率二次元周期構造17が作製できる(図2(B))。

【0016】2. 第2の実施の形態

次に、下地として、基板表面に平行な二方向に凹凸構造が繰り返されているGaAs基板を用い、かつ、屈折率10が異なる2種類の薄膜として、GaAs薄膜およびAlAs薄膜を用いて、屈折率三次元周期構造を作製する例を説明する。図3および図4はその説明に供する工程図であって、製造工程中の主な工程での試料の様子をそれぞれ斜視図により示した工程図である。なお、ここでいう基板表面に平行な二方向とは、互いが180°反対向きである場合は除く方向である。ここでは上記二方向が互いに直交する2方向(図3(A)中にX、Yで示す各方向)である例を説明する。

【0017】はじめに、GaAs基板の表面に、凸部21aおよび凹部21bが基板表面に平行な二方向それぞれで交互に生じるように、該GaAs基板表面を通常のフォトリソグラフィ技術とエッチング技術とを用いて加工する。具体的には、開口部の平面形状が正方形または長方形となっていてかつ深さ(段差)がHである凹部21bがGaAs基板に多數形成されるように、しかも、それぞれの凹部21bが千鳥状にかつその四隅には別の凹部21bの隅が接する配列となるように、GaAs基板を加工する。この加工の済んだGaAs基板21は、該基板表面に平行な二方向それぞれに沿って凸部21aおよび凹部21bが繰り返された周期構造(二次元周期構造)21xを表面に有したGaAs基板21すなわちこの発明でいう下地21になる(図3(A))。またここでは、凸部21aの頂面の大きさおよび形状と、凹部21bの開口部の大きさ及び形状とを、同じとしてある。すなわち凸部21aの頂面におけるX方向の寸法と、凹部21bの開口部におけるY方向の寸法とを、いずれもWxとし、凸部21aの頂面におけるY方向の寸法と、凹部21bの開口部におけるX方向の寸法とを、いずれもWyとしてある。またこれらWx、Wy、Hの40各値は、屈折率周期構造をどのような構造のものにするかに応じ、任意の値にできる。具体的にはWxおよびWyは、周期構造21xにおけるX方向の周期PxおよびPy(図3(A)参照)をそれぞれどのような周期とするかに応じ決めることが出来、Hは、GaAs基板11の表面に対し垂直な方向に後に形成される周期構造の周期Pz(図3(B)参照)をどのような周期とするかに応じ決めることが出来る。例えばWx=Wy=Hとすれば、GaAs基板11の表面に平行な二方向それぞれでの屈折率周期構造すなわちX方向の屈折率周期構造と、Y方向の屈折率周期構造と、GaAs基板11の表面に

垂直な方向での屈折率周期構造とが同じ周期となった屈折率三次元周期構造の作製が可能になる。また、凸部 2 1 a の側壁（凹部 2 1 1 b の側壁）はできるだけ GaAs 基板表面に対し垂直になるようにするのが良い。そうした方が凹凸構造が、下地 2 1 上に薄膜を形成した後でも良好に保存され易いからである。

【0018】このように凹凸構造を表面に有した GaAs 基板 2 1 上に、 AlAs 薄膜 1 3 と、 GaAs 薄膜 1 5 を交互にかつそれぞれの膜厚が段差 H と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層する（図 3 (B) 、図 4 (A) ）。これら薄膜 1 3 、 1 5 の積層数は、希望する厚さの屈折率周期構造が作製できる数とする。これら薄膜 1 3 、 1 5 の成膜方法は、下地 2 1 の凹凸構造 2 1 x を転写し易い成膜方法が好ましい。例えば分子線成長法（MBE 法）は好ましい成膜方法の 1 つとして挙げられる。

【0019】各薄膜 1 3 、 1 5 の形成工程において AlAs 薄膜 1 3 および GaAs 薄膜 1 5 それぞれは、凹部 2 1 b 内の成長部分と凸部 2 1 a 上の成長とが凹凸の段差分された状態で、成長する。そのため交互積層が済んだ試料では、 GaAs 基板 2 1 表面に平行な二方向（X, Y 方向）それぞれに沿う方向においても、基板 2 1 表面に垂直な方向においても、 GaAs 薄膜と AlAs 薄膜とが交互にかつ周期的に存在する構造が作製されるので、屈折率三次元周期構造 2 3 が作製できる（図 4 (B) ）。

【0020】3. 第 3 の実施の形態

次に、周期的な凹凸構造を表面に有した下地上に、後処理により互いに異なる屈折率となるような 2 種類の薄膜を交互に所定の膜厚で積層し、そして当該後処理をする発明について説明する。ただし、ここでは、この技術思想を第 1 の実施の形態で説明した方法にさらに適用する例を説明する。上述の第 1 の実施の形態では所定の GaAs 下地 1 1 上に、 AlAs 薄膜 1 3 および GaAs 薄膜 1 5 を交互に積層して所望の屈折率多次元周期構造を作製する例を説明した。この場合は GaAs の屈折率が約 3.5 、 AlAs の屈折率が約 2.9 であるので、屈折率差が約 0.6 となっている屈折率多次元周期構造が得られる。しかし、さらに大きな屈折率差を有した屈折率多次元周期構造が作製できれば、そのような用途の屈折率多次元周期構造を容易に作製できるので好ましい。そこで、この第 3 の実施の形態では以下の様な手順をとる。この説明を図 5 を主に参照して説明する。

【0021】まず第 1 の実施の形態において説明した手順により屈折率二次元周期構造 1 7 を作成する（図 5 (A) ）。次に、屈折率二次元周期構造 1 7 中の AlAs 各層の一部が外部にそれぞれ露出されるように適正な加工をこの屈折率二次元周期構造に対し実施する。この加工は例えば劈開により行なえる。もちろん、 AlAs 各層の一部が外部に既に露出されている場合は、この加

工は無用である。

【0022】次に、この試料を酸化促進雰囲気例えば水蒸気雰囲気でかつ高温（例えば 400 ℃ 程度の温度）の雰囲気の中に数時間入れる。この処理では、それぞれの GaAs 薄膜 1 5 は変化しないが各 AlAs 薄膜 1 3 は酸化されて屈折率が 1.5 程度の酸化膜 1 3 x に変わる（図 5 (B) ）。そのため、 GaAs （基板 1 1 および GaAs 薄膜 1 5 双方）と酸化膜 1 3 x とで構成される屈折率二次元周期構造 1 7 x が作製できる。この構造の 10 場合は、 GaAs の屈折率が約 3.5 、酸化膜 1 3 x の屈折率が約 1.5 であるので、屈折率差が約 2.0 となっている屈折率二次元周期構造になり、第 1 の実施の形態の場合より屈折率差が大きい屈折率二次元周期構造が得られる。なお、上記の熱酸化プロセスの詳細については、例えば文献 IV (Applied Physics Letters (アーリット・フィジックス レターズ), 1990, Vol. 57, pp. 2844~2846) に開示されている。

【0023】なお、上述の説明では、屈折率二次元周期構造に対し酸化処理をする例を説明したが、例えば図 4

(B) に示した屈折率三次元周期構造に対して酸化処理をして AlAs 薄膜 1 3 を酸化膜に変えることも可能と考える。ただし、その場合は、図 6 に示したように、被酸化膜である AlAs 薄膜 1 3 の膜厚 D を意図的に凹凸における段差 H よりも僅かに厚くして AlAs 薄膜 1 3 が二次元的に繋がった状態にしておく。ただし、 AlAs 薄膜における段差 H より厚くなっている部分の膜厚 t は、光学的に無視出来る程度の膜厚である必要がある。たとえば、段差 H が 0.5 μm であるとしたなら、膜厚 t は厚くとも数百 Å 程度と考える。したがって、 AlAs 薄膜の膜厚 D は厚くとも 0.5 μm + 数百 Å 程度の膜厚にすれば良いと考える。こうしておけば、屈折率三次元周期構造の場合でも後の酸化処理により AlAs 薄膜 1 3 の酸化が可能と考える。

【0024】また、この第 3 の実施の形態においては、第一の薄膜および第 2 の薄膜それが最初から屈折率が異なったものである例を説明したが、後処理を行なう前まで第一及び第二の薄膜の屈折率が同じであり後処理で少なくとも一方の薄膜の屈折率が変化するような構成も、この発明は含む。

【0025】4. 第 4 の実施の形態

次に、周期的な凹凸構造が表面に形成されている下地上に、後に行なうエッティング方法によってエッティングされる第 1 の薄膜と該エッティング方法によってはエッティングされないか実質的にエッティングされない第 2 の薄膜とを、交互にかつ所定の膜厚となるように積層し、そしてこの試料に対し当後エッティングを行なう発明について説明する。この説明を図 7 を主に参照して説明する。

【0026】まず第 1 の実施の形態において説明した手順により屈折率二次元周期構造 1 7 を作成する（図 7 (A) ）。次に、屈折率二次元周期構造 1 7 中の AlAs

s 各層の一部が外部にそれぞれ露出されるように適正な加工をこの屈折率二次元周期構造に対し実施する。この加工は例えば劈開により行なえる。もちろん、AlAs 各層の一部が外部に既に露出されている場合は、この加工は無用である。

【0027】次に、この試料を、AlAs を溶解するが GaAs は溶解しない（実質的に溶解しない場合も含む）エッティング方法によりエッティングする。これは例えばふつ酸中に試料を浸漬することで行なえる。この処理では、各 AlAs 薄膜 13 はその露出部から除去されてゆくので、試料の AlAs 薄膜が存在していた部分は最終的には空孔 31 になる（図 7 (B)）。そのため、GaAs（基板 11 および GaAs 薄膜 15 双方）と空孔 31 とで構成される屈折率二次元周期構造 17y が作製できる。この構造の場合は、GaAs の屈折率が約 3.5、空孔の屈折率が約 1 であるので、屈折率差が約 2.5 となっている屈折率二次元周期構造が得られる。この第 4 の実施の形態では、第 1 の実施の形態、第 3 の実施に形態いずれの場合より屈折率差が大きい屈折率二次元周期構造が得られる。

【0028】上述においてはこの発明のいくつかの実施の形態について説明した。しかしこの発明は上述の実施の形態に限られない。

【0029】例えば上述の第 1、第 2 の実施の形態それでは下地を GaAs 基板とし、屈折率が異なる 2 種類の薄膜を AlAs 薄膜および GaAs 薄膜とした例を説明した。また、第 3 の実施の形態では下地を GaAs 基板とし、後処理により少なくとも一方の屈折率が変化する 2 種類の薄膜を AlAs 薄膜および GaAs 薄膜とした例を説明した。また、第 4 の実施の形態では、下地を GaAs 基板とし、後のエッティング方法によりエッティングされる薄膜およびされない薄膜を AlAs 薄膜および GaAs 薄膜とした例を説明した。しかし、これら材料はこの発明の目的を達成し得る他の好適な材料に置換出来る。例えば、第 1 の実施の形態において屈折率が異なる 2 種類の薄膜を AlAs 薄膜および AlGaAs 薄膜としたり、組成が異なる 2 種類の AlGaAs 薄膜とした場合も第 1 の実施の形態と同様な効果が得られる。また、第 3 の実施の形態の場合も、2 種類の薄膜を AlAs 薄膜および AlGaAs 薄膜としたり、組成が異なる 2 種類の AlGaAs 薄膜としても良いと考える。その場合は、両者が酸化されることになるがその程度が違うので屈折率周期構造が確保されると考える。

【0030】また、上述の実施の形態であって屈折率三次元周期構造を作製する例においては、基板表面に平行

な二方向が互いに直交する 2 方向（図 3 (A) 中に X、Y で示す各方向）である例を説明した。しかし、該二方向は直交する方向でなくとも良く、互いが鋭角をなす方向や鈍角をなす方向でも良い。その場合は、凸部 21a、凹部 21b の平面形状を平行四辺形状にする等の手当をすれば良い。

【0031】

【発明の効果】上述した説明から明らかなように、この発明の屈折率多次元周期構造の作製方法によれば、周期的な凹凸構造を表面に有した下地を用意し、該下地の前記表面上に、屈折率が異なる 2 種類の薄膜等の所定の薄膜を、交互にかつそれぞれの膜厚が前記凹凸における段差と等しいか実質的に等しい膜厚となるように積層する。この方法の場合、凹凸構造を有した下地を形成する際にドライエッティングを使用する場合もあり得るがそのエッティング深さは浅くて済む。また、その後は、2 種類の薄膜を交互に所定の膜厚で積層するのみで良い。したがって、所望の厚さを有した屈折率多次元周期構造を簡単に作製でき、然も、光素子作製用の代表的な材料である化合物半導体材料を用いる場合も所望の屈折率多次元周期構造を簡単に作製できる。また、従来より高い信頼性および高い再現性で屈折率多次元周期構造を作製出来る。

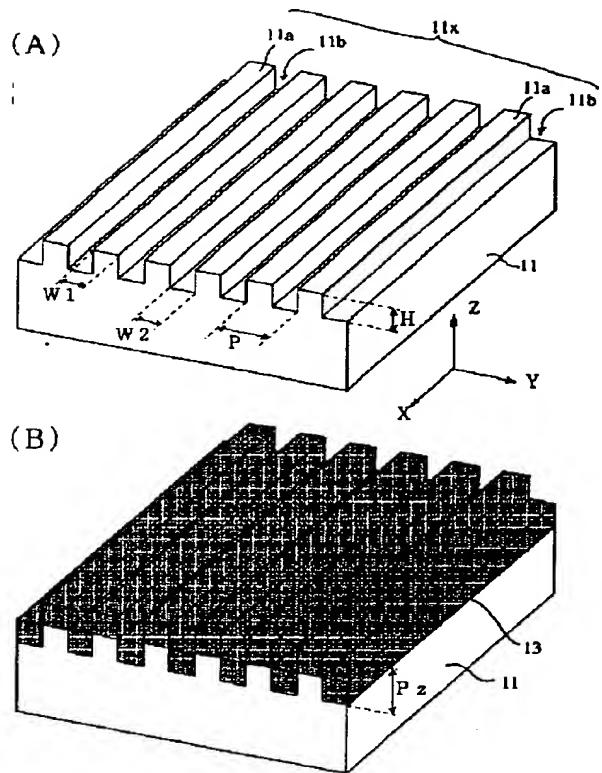
【図面の簡単な説明】

- 【図 1】第 1 の実施の形態の説明図（その 1）である。
- 【図 2】第 1 の実施の形態の説明図（その 2）である。
- 【図 3】第 2 の実施の形態の説明図（その 1）である。
- 【図 4】第 2 の実施の形態の説明図（その 2）である。
- 【図 5】第 3 の実施の形態の説明図である。
- 【図 6】第 3 の実施の形態の他の例の説明図である。
- 【図 7】第 4 の実施の形態の説明図である。

【符号の説明】

- 11：一次元周期構造を有した下地（GaAs 基板）
- 11a：凸部（リッジ状の凸部）
- 11b：凹部
- 13：第 1 の薄膜（AlAs 薄膜）
- 13x：酸化膜（AlAs を酸化した膜）
- 15：第 2 の薄膜（GaAs 薄膜）
- 17, 17x, 17y：屈折率二次元周期構造
- 21：二次元周期構造を有した下地
- 21a：凸部（例えば立方形状の凸部）
- 21b：凹部（例えば立方形状の凹部）
- 23：屈折率三次元周期構造
- 31：空孔

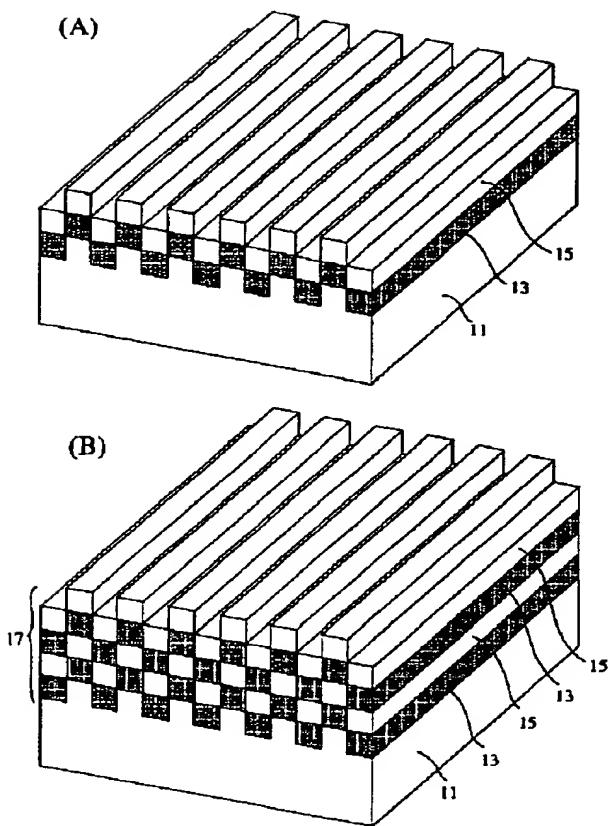
【図 1】



11:一次元周期構造を有した下地 (GaAs基板)
 11a:凸部 (リッジ状の凸部)
 11b:凹部 (リッジ状の凹部)
 13:第1の薄膜 (AlAs薄膜)

第1の実施の形態の説明図 (その1)

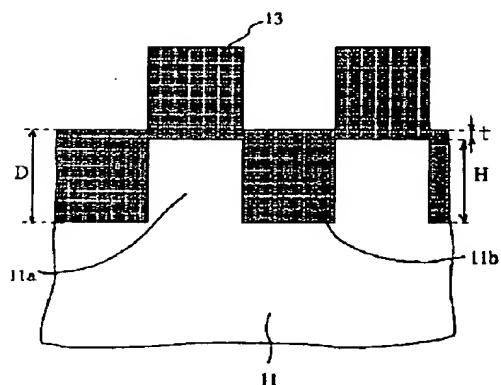
【図 2】



15:第2の薄膜 (GaAs薄膜)
 17:屈折率二次元周期構造

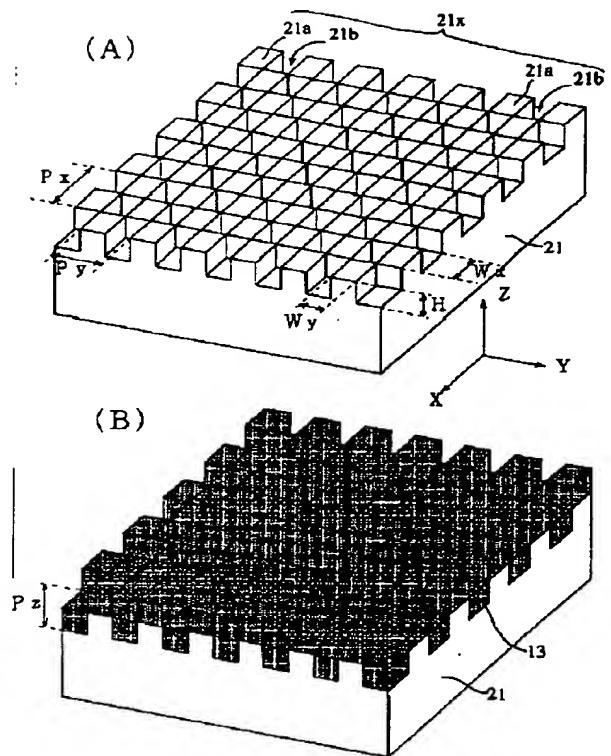
第1の実施の形態の説明図 (その2)

【図 6】



第3の実施の形態の他の例の説明図

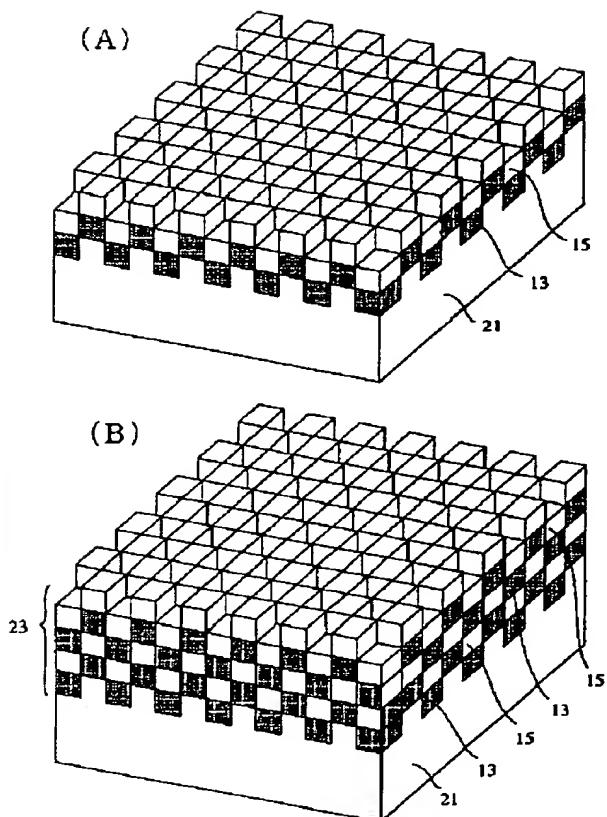
【図 3】



21:二次元周期構造を有した下地
21a:凸部 (例えば立方形状の凸部)
21b:凹部 (例えば立方形状の凹部)

第 2 の実施の形態の説明図 (その 1)

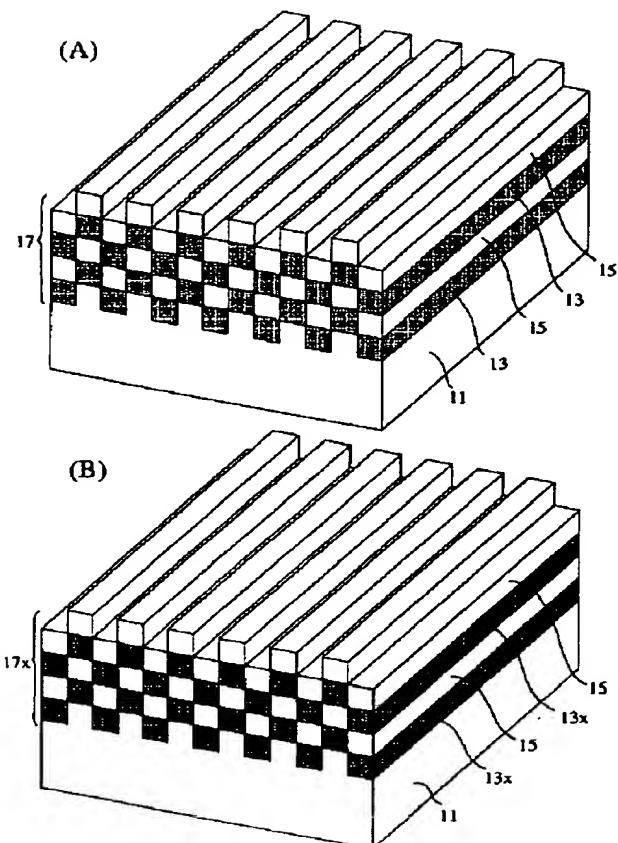
【図 4】



23:屈折率三次元周期構造

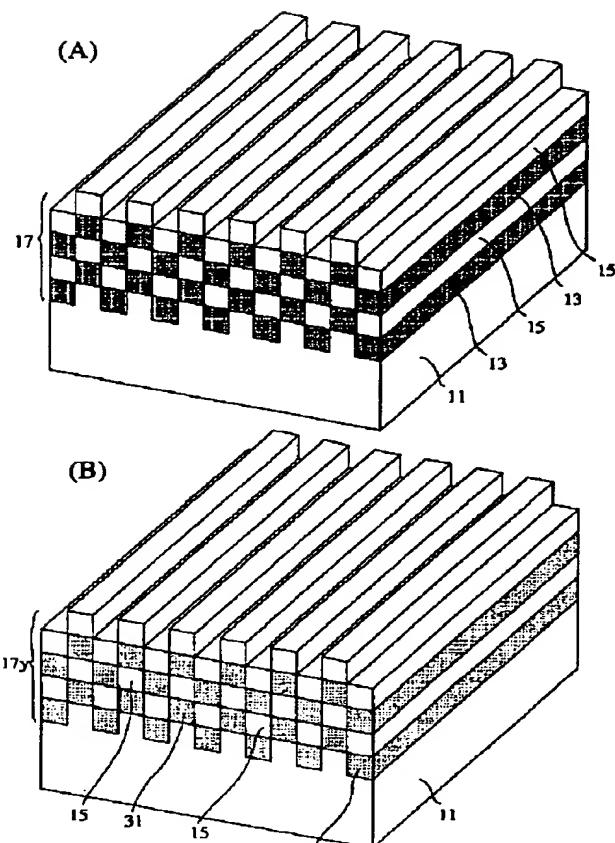
第 2 の実施の形態の説明図 (その 2)

【図 5】



13x:酸化膜 (AlAsを酸化した膜)
17x:屈折率二次元周期構造
第3の実施の形態の説明図

【図 7】



31:空孔
17y:屈折率二次元周期構造
第4の実施の形態の説明図

フロントページの続き

(72)発明者 和田 浩
東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電
気工業株式会社内

(72)発明者 上條 健
東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電
気工業株式会社内